

金属テーパ構造を利用した遠赤外領域における超集束の基礎研究

福井大学教育地域科学部 栗原 一嘉

1. はじめに

遠赤外領域の分光技術を発展させる上で重要な課題の一つに、回折限界を超えて遠赤外光を集光する技術の確立することが挙げられる。このような技術の確立で、より微細な試料の測定が可能となり、光伝導アンテナや電気光学サンプリングなど検出器の感度向上が期待される。この回折限界を超える技術は、近年、表面プラズモンによる超集束を使って推進されている。本共同研究は、遠赤外領域開発研究センターが金属V溝テーパ構造における超集束の実験を実施し、共同研究者の栗原がデバイス設計やデータ解釈など理論面を担当することで、相互補完的な協働的研究を進めている。本年度で2年目となる。

2. 研究手法

本研究では、THz-TDS 分光装置を用いて、金属V溝テーパ構造における超集束の実験を行い、理論面では、実験データを定量的に説明するために、準変数分離[1]による解析的な手法で超集束の原理解明を進める。

3. 結果と考察

実験面では、昨年度は、金属V溝テーパ構造における超集束のテラヘルツ透過スペクトルを観測し[2]、今年度は、超集束により電気光学サンプリングの検出感度を向上させる[3]など、超集束の実験的な成果が着実に上がっている。一方、理論的な進展は、昨年度に超集束が起こる過程の電気力線表示(図1)を描くことができるようになり、今年度は金属V溝テーパ構造における近似解析解(表1)を求めることに成功した[4, 5]。表1の近似解析解により、金属誘電率やテーパ角などが超集束に与える影響が直接的に扱えるようになった。特に、遠赤外領域で金属にしばしば適用される完全導体近似の適用限界を明確に議論できるようになった点は意義深いと思われる。

4. まとめ

遠赤外領域での超集束について、実験と理論の両側面から協働的に研究を推進した。実験面では、超集束を利用した遠赤外検出器の感度向上に大きな進展があり、理論面では、遠赤外領域における超集束の近似解析解が初めて得られた。

参考文献

[1] K. Kurihara *et al.*, *J. Phys. A: Math. Theor.* **41** (2008) 295401; [2] S. Tsuzuki, *et al.*, “Superfocusing effect of V-groove Metallic structure for terahertz wave”, IPC2011, (2011) M2E.1; [3] M. Tani, *et al.*, “Enhancement of THz EO sampling efficiency using waveguides”, IRMMW-THz 2012, (2012) Tue-A-5-3; [4] K. Kurihara, “Theoretical understanding of superfocusing of terahertz waves in V-grooves metallic structures based on quasi-separation of variables”, IW-FIRT2012, (2012) 138-144; [5] K. Kurihara, *et al.*, “Theoretical consideration of nonadiabatic superfocusing of terahertz waves in a metallic V-groove tapered waveguide”, FTT 2012, (2012) Pos.1.36.

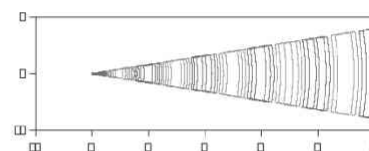


図1 金属V溝テーパ構造での超集束の電気力線表示(遠赤外領域)

表1 動径関数と角度関数の解析解(遠赤外領域)

動径関数:

$$R^{(0)}(\rho) = \frac{W_{\kappa,0}(2i\rho k_p)}{\sqrt{\rho}},$$

$$\kappa = \frac{1}{2\alpha\sqrt{\epsilon_2}} \exp\left[-\frac{i}{2}\arg\epsilon_2\right],$$

角度関数(V溝内側):

$$Q^{(0)}(\phi, \rho) = \frac{\cosh\{\phi\eta_1(\rho)\}}{\cosh\{\alpha\eta_1(\rho)\}}, 0 \leq |\phi| \leq \alpha,$$

$$\eta_1(\rho) \sim |\epsilon_2|^{-1/4} \sqrt{k_0\rho/\alpha} \exp\left\{i\left(\frac{\pi}{4} - \frac{1}{4}\arg\epsilon_2\right)\right\}$$

角度関数(V溝外側):

$$Q_2^{(0)}(\phi, \rho) = \frac{\cosh\{(\pi - |\phi|)\eta_2(\rho)\}}{\cosh\{(\pi - \alpha)\eta_2(\rho)\}}, \alpha \leq |\phi| \leq \pi,$$

$$\eta_2(\rho) \sim k_0\rho\sqrt{\epsilon_2} \exp\left\{i\left(\frac{1}{2}\arg\epsilon_2 - \frac{\pi}{2}\right)\right\}$$